

УДК 519.87

МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ СОСТАВА КОМПЛЕКСА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Б.В. ЗУБКОВ, А.К. ВОЛКОВ, А.К. ВОЛКОВ

В статье рассматривается методика оптимизации комплекса технических средств обеспечения авиационной безопасности. Методика включает два основных этапа – определение оптимальных суммарных затрат и оптимального состава технических средств обеспечения авиационной безопасности. Представлены две постановки задачи оптимизации состава технических средств досмотра. Приводятся сферы практического применения методики, поэтому кроме научного представления проблемы статья имеет большое практическое значение.

Ключевые слова: методика оптимизации, угрозы, вероятность реализации, затраты, ущерб.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях неснижающейся террористической угрозы в адрес гражданской авиации возрастает потребность в дальнейшем совершенствовании как мер, так и средств по обеспечению авиационной безопасности.

Однако широкое распространение и внедрение все новых технических средств и технологий обеспечения безопасности приводит к возрастанию сложности и увеличению альтернативных вариантов построения комплекса технических средств обеспечения авиационной безопасности (ТС ОАБ), поэтому задача применения математического моделирования при анализе и синтезе систем обеспечения авиационной безопасности, особенно на этапах проектирования, остается актуальной. Необходимо отметить важность экономической составляющей в процессе построения комплекса ТС ОАБ, которая обусловлена тем, что:

- высокая стоимость оборудования в условиях рыночной экономики требует проведения оптимизации расходов при сохранении необходимого уровня безопасности;
- высокие затраты на оборудование и непосредственно на процесс проектирования комплекса ТС ОАБ не позволяют проводить практическую проверку принимаемых проектных решений, что также вызывает необходимость применения математического моделирования на стадии разработки проекта.

Таким образом, актуальность проблемы оптимизации состава комплекса ТС ОАБ определяется необходимостью создания эффективной системы обеспечения авиационной безопасности (ОАБ) с учетом анализа угроз при соблюдении баланса между затратами на обеспечение безопасности и возможным ущербом от реализации акта незаконного вмешательства (АНВ).

Предлагаемая методика состоит из двух основных этапов:

- 1) определения оптимальных суммарных затрат на создание комплекса ТС ОАБ;
- 2) определения оптимального состава комплекса ТС ОАБ.

Этап 1. Определение оптимальных суммарных затрат на создание комплекса ТС ОАБ

На данном этапе необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ угроз авиационной безопасности;
- выполнить оптимизацию затрат на создание комплекса ТС ОАБ.

Согласно совместному приказу Минтранса России, ФСБ России и МВД России от 05.03.2010 № 52/112/134 утверждены девять потенциальных угроз совершения АНВ для объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств.

Каждая угроза характеризуется вероятностью появления и реализации, а также потерями, нанесенными в результате реализации угрозы. Совокупность всех возможных на данный момент времени угроз и способов их реализации авиапредприятию составляет модель угроз. Значение вероятности появления конкретной угрозы и потерь от ее реализации может быть получено в результате обработки статистических данных и при необходимости дополнено с помощью экспертных оценок.

В качестве примера рассмотрим процедуру анализа угроз некоторому гипотетическому аэропорту.

На основании экспертного опроса, руководствуясь приказом, упомянутым выше, было установлено, что наиболее вероятной потенциальной угрозой данному аэропорту является угроза взрыва, а наиболее вероятной формой реализации данной угрозы является пронос взрывчатого вещества (ВВ) в здание аэровокзала и его подрыв. Пронос ВВ осуществляется через пункт досмотра на входе в аэровокзал. Непосредственно процедура досмотра представляет собой совокупность работ, выполняемых персоналом службы авиационной безопасности при использовании ими комплекса технических средств досмотра (ТСД), направленных на пресечение попыток проноса запрещенных предметов и веществ.

Следующим шагом в оценке угрозы является определение вероятности ее реализации. Примем, что имеется последовательная надежностная схема соединения комплекса ТСД. Исходя из этого, определить вероятность безотказной работы комплекса ТСД можно по следующей формуле:

$$P_{\text{ТСД}} = \prod_{i=1}^n P_i^{x_i},$$

где P_i – вероятность безотказной работы i -го устройства;
 n – общее число типов устройств;
 x_i – количество устройств i -го типа.

В случае если вероятность безотказной работы системы досмотра не удовлетворяет требованиям надежности, имеет смысл применить метод параллельного резервирования.

Относительно возникновения ошибки обнаружения попытки проноса запрещенных предметов и веществ принимается, что операторы досмотра и комплекс ТСД соединены последовательно. Вследствие этого оценка вероятности обнаружения попытки совершения АНВ в пункте досмотра будет определяться следующим образом.

$$P_{\text{САБ}} = P_{\text{ТСД}} \cdot P_{\text{опер}},$$

где $P_{\text{опер}}$ – вероятность безошибочной работы оператора досмотра.

Таким образом, вероятность обнаружения попытки проноса запрещенных предметов и веществ будет определяться следующим образом:

$$P_{\text{САБ}} = \prod_{i=1}^n P_i^{x_i},$$

где $P_i = P_{\text{ТСД}} \cdot P_{\text{опер}}$.

Реализация угрозы взрыва в здании аэровокзала будет определяться как сложное событие, заключающееся в наличии угрозы на заданном интервале времени и безуспешном противо-

действии системы досмотра. В связи с этим вероятность проноса ВВ (реализация угрозы) будет определяться по формуле

$$P_{\text{АНВ}} = P_{\pi} \prod_{i=1}^n (1 - P_i)^{X_i}, \quad (1)$$

где P_{π} – вероятность появления угрозы.

Ущерб от последствий АНВ является риском и представляет собой математическое ожидание [1]:

$$R = M[Y] = \sum_{j=1}^k P_j C_j,$$

где R – риск; Y_j – ущерб, обусловленный j -й угрозой; P_j – вероятность реализации j -й угрозы; C_j – потери, обусловленные j -й угрозой; J – текущий индекс; k – количество угроз.

Таким образом, процедура анализа угроз авиапредприятию подразумевает определение совокупности наиболее вероятных угроз, способов и вероятностей их реализации, что позволит проводить оценку ущерба от АНВ.

Общие суммарные затраты (обозначим C_{Σ}) представляют собой сумму двух составляющих – затрат на комплекс ТС ОАБ (обозначим $C_{\text{ТСОАБ}}$) и ущерба от реализации АНВ (обозначим R).

Зависимость затрат и ущерба от вероятности реализации АНВ в общем виде представлена на рисунке.

Задача оптимизации общих суммарных затрат на комплекс ТС ОАБ представляет собой поиск минимума целевой функции суммарных затрат:

$$C_{\Sigma} = R + C_{\text{ТСОАБ}} \rightarrow \min.$$

Затраты на комплекс ТСО АБ могут складываться из капитальных и эксплуатационных затрат.

Таким образом, проведение процедуры оптимизации общих затрат позволит определять оптимальный объем вложений на комплекс ТС ОАБ.

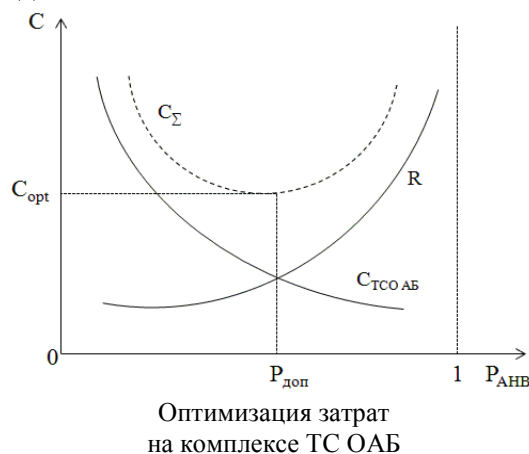
Этап 2. Определение оптимального состава комплекса ТС ОАБ

После определения оптимальных суммарных затрат необходимо перейти к этапу установления оптимального состава комплекса ТС ОАБ.

Данный этап представляет собой постановку задачи параметрического синтеза, для решения которой необходимо определить:

- основные характеристики комплекса ТС ОАБ;
- критерий качества работы системы ОАБ.
- ограничения, накладываемые на систему.

Исходя из первого этапа, рассмотрим процедуру параметрического синтеза на примере оптимизации комплекса технических средств досмотра (ТСД).



Основными характеристиками системы досмотра, влияющими на предотвращение совершения АНВ, являются: вероятность безотказной работы комплекса ТСД; вероятность безошибочной работы операторов досмотра; вероятность проноса запрещенных предметов и веществ; пропускная способность комплекса ТСД; стоимость комплекса ТСД.

В качестве критерия эффективности работы системы досмотра будем рассматривать вероятность проноса запрещенных предметов и веществ, которую необходимо минимизировать.

Данная постановка задачи в соответствии с (1) запишется следующим образом:

$$P_{\text{АНВ}} = P_n \prod_{i=1}^n (1 - P_i)^{x_i} \rightarrow \min, (1 - P_i) = \text{const}, i = 1, n, X_i \in Z. \quad (2)$$

Исходя из анализа выражения (2), видно, что оно нелинейное. Для того чтобы свести данное ограничение к линейному выражению относительно неизвестных X , прологарифмируем данное неравенство. Тогда

$$\lg P_{\text{АНВ}} = P_n \sum_{i=1}^n X_i \lg(1 - P_i). \quad (3)$$

Следующим этапом является задание системы ограничений.

Система досмотра должна иметь необходимую производительность для обработки планового пассажиропотока. Поэтому ограничение по количеству устройств определенного типа, обеспечивающих необходимую пропускную способность системы досмотра, может быть представлено следующим образом:

$$X_i \geq \frac{M}{m_i}, i = 1, n, X_i \in Z. \quad (4)$$

где M – пассажиропоток или грузопоток;

m_i – пропускная способность i -го устройства, чел/час или чем/час.

Исходя из того, что количество ТСД не может быть отрицательной величиной, $X_i \geq 0$.

Вторым важным ограничением, которое необходимо учитывать при построении системы досмотра авиапредприятия, является стоимость оборудования.

Обозначив C_i как стоимость i -го типа ТСД, общую стоимость оборудования можно записать так:

$$C = C_1 X_1 + C_2 X_2 + \dots + C_n X_n = \sum_{i=1}^n C_i X_i, \quad (5)$$

$$C_i = \text{const}, i = 1, n.$$

Оптимальные затраты на оборудование системы досмотра $C_{\text{зад}}$ определяются на первом этапе. Тогда с учетом (5) ограничение по допустимой стоимости комплекса ТСД можно представить следующим образом:

$$\sum_{i=1}^n C_i X_i \leq C_{\text{зад}}. \quad (6)$$

Таким образом, в соответствии с (3), (4), (6) поставлена задача параметрического синтеза, которая имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}
 P_n \sum_{i=1}^n X_i \lg(1 - P_i) &\rightarrow \min, \\
 \lg(1 - P_i) &= \text{const}, P_i > 0, \\
 X_i &\geq \frac{M}{m_i}, \\
 X_i &\geq 0, X_i \in Z, \\
 \sum_{i=1}^n C_i X_i &\leq C_{\text{зад}}, \\
 C_i &= \text{const}, i = 1, n.
 \end{aligned} \quad (7)$$

Альтернативным вариантом параметрического синтеза комплекса ТСД является задача минимизации стоимости комплекса ТСД, которая имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}
 \sum_{i=1}^n C_i X_i &\rightarrow \min, \\
 C_i &= \text{const}, i = 1, n. \\
 P_n \sum_{i=1}^n X_i \lg(1 - P_i) &\leq \lg P_{\text{зад}}, \\
 \lg(1 - P_i) &= \text{const}, P_i > 0, \\
 X_i &\geq \frac{M}{m_i}, \\
 X_i &\geq 0, X_i \in Z.
 \end{aligned} \quad (8)$$

Разработанные модели оптимизации (7) и (8) относятся к классу задач линейного целочисленного программирования. В настоящее время существует достаточное количество пакетов прикладных программ, таких как *MATLAB*, *Maple* и другие, которые могут применяться для решения задач математического программирования, в частности, для решения задач целочисленного линейного программирования.

В случае получения нелинейной целевой функции предполагается использовать метод геометрического программирования (ГП) для решения оптимизационной задачи по нахождению оптимального состава комплекса ТС ОАБ. Центральным понятием метода ГП является понятие позинорма – функции m переменных t_i , $i = 1, \dots, m$, следующего вида [2]:

$$g(t) = \sum_{i=1}^n c_i t_1^{a_{i1}} t_2^{a_{i2}} \dots t_m^{a_{im}},$$

где $t_i > 0$, $c_i > 0$, a_{ij} – произвольные вещественные числа ($i = 1, 2, \dots, n$; $j = 1, 2, \dots, m$).

В общем случае задачу ГП можно сформулировать следующим образом:

найти наименьшее значение позинорма при естественных условиях положительности значений переменных величин $t_i > 0, \dots, t_n > 0$ и вынужденных ограничениях:

$$g_i(t_1, \dots, t_m) \leq 1, i = 1, \dots, p$$

где все функции $g_i(t_1, \dots, t_m)$ – полиномы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Практическая значимость представленной методики оптимизации состава комплекса ТСО ОАБ заключается в возможности решения задачи научно обоснованного выбора технических средств защиты от АНВ исходя из соблюдения баланса между затратами на ОАБ и возможным ущербом от реализации АНВ.

Данная методика может использоваться при следующих видах работ:

в составе систем автоматизированного проектирования комплекса ТСО АБ или модернизации уже имеющихся систем; в процессе аккредитации комплексов ТСО АБ; на этапе периодического лицензирования, которому через определенные периоды должны подвергаться все комплексы ТСО АБ; при расследовании АНВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Краснов С.И.** Математические модели в авиационной безопасности: монография / С.И. Краснов, А.М. Лебедев, Н.В. Павлов. Ульяновск: УВАУ ГА (И), 2010. 112 с.
2. **Даффин Р., Питерсон Э., Зенер К.** Геометрическое программирование. М.: Мир, 1972. 311 с.

THE METHOD OF OPTIMIZATION OF THE SET OF TECHNICAL FACILITIES TO PROVIDE AVIATION SAFETY AND SECURITY

Zubkov B.V., Volkov A.K., Volkov A.K.

The actuality of problem of optimizing the set of technical facilities to provide aviation safety and security is determined by the necessity to develop aviation security provision system taking into account the analysis of threats while ensuring balance between expenses on security support and possible damage from the act of unlawful interference.

The offered method of optimization consists of two main stages: determination of the optimal total expenses and determination of the optimal set of technical facilities.

The first stage is devoted to analysing the threats and solving the task of optimization of total expenditures on the technical aids set used to ensure aviation safety and security which means searching for the minimum of total expenses goal function. These expenses constitute a sum of expenses spent on technical aids set and damage from the act of unlawful interference.

The second methodological stage deals with setting the task of parameters synthesis. To solve this task it is necessary to determine the main features of the technical aids set, the criterion of the system operation quality and restrictions imposed on the system.

Practical significance of the suggested method of optimization gives the possibility to solve the task of scientifically-grounded selection of technical aids set which is aimed at protecting from the acts of unlawful interference when guided by providing balance between expenses on aviation security and potential damage.

Key words: the method of optimization, threats, probability of realization, expenses, damages.

REFERENCES

1. **Krasnov S.I.** Mathematical models in aviation security: monograph / S.I. Krasnov, A.M. Lebedev, N.In. Pavlov. Ulyanovsk: UVAU GA (I), 2010. 112 p. [In Russian].
2. **Duffin R., Peterson E., Zener C.** Geometric programming. M.: Mir, 1972. 311 p. [In Russian].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Зубков Борис Васильевич, действительный член Академии наук авиации и воздухоплавания, доктор технических наук, профессор МГТУ ГА.

Волков Александр Константинович, ассистент, аспирант кафедры обеспечения авиационной безопасности ФГБОУ ВО «УИ ГА им. Главного маршала авиации Б.П. Бугаева», oabuvauga@mail.ru.

Волков Андрей Константинович, аспирант кафедры обеспечения авиационной безопасности ФГБОУ ВО «УИ ГА им. Главного маршала авиации Б.П. Бугаева», oabuvauga@mail.ru.